

# 군 위성통신 중계기용 대역통과 여파기 특성을 갖는 CRLH 0차 공진 기반 소형 전력분배기의 설계

엄다정\*, 강승택°, 송충호\*, 우춘식\*, 박도현\*

## Design of a Miniature Power Divider Based on the CRLH Zeroth Order Resonator with the Bandpass Filtering for the Military Satellite

Da-jeong Eom\*, Sungtek Kahng°, Choongho Song\*, Chunsik Woo\*, Dohyun Park\*

### 요 약

본 논문에서는 새로운 소형 전력 분배기를 제안한다. 기존의 Wilkinson 전력 분배기에서  $\lambda/4$  길이의 분기선로 대신  $\lambda/12$  길이의 CRLH 전송선 0차 공진 대역통과 여파기를 사용하여 전체구조의 물리적 크기를 줄였다. 분기선로의 위상을 만족하면서 원하는 주파수를 중심으로 대역을 형성하고 전력 분배가 이뤄지는 기능을 가진다. 설계방법의 타당성 확인을 위해 군위성 통신 시스템의 L-대역을 적용예로 선택하여 등가 모델과 3차원 모의실험의 성능과 함께 분산도와 ZOR 전개분포로써 CRLH의 특성이 제시된다. 모의실험 결과는 측정결과와 비교하였으며 제안기법의 소형화 효과가 논의된다.

**Key Words** : L-band, 군위성통신, 대역통과 여파기, 전력 분배기, RF 부품

### ABSTRACT

In this paper, a new compact power divider is suggested. Instead of the quarter wavelength transmission line(TX-line)s for the branches of the conventional Wilkinson's power divider design method, we use our composite right- and left-handed(CRLH) TX-line zeroth order resonator(ZOR) bandpass filters of one twelfth wavelength and reduce the physical length of the power divider. Besides, the filters in the branches can secure the passband for power-division. To validate the proposed power divider, we take an L-band for military satellite transponder as the test case and the performances of the circuit and full-wave simulation results with the CRLH properties of the structure are shown with the dispersion curve and E-field at the ZOR. The measurement is compared with the simulation results. Also, the size reduction effect by the proposed scheme is addressed

### I. 서 론

전력분배기는 배열안테나와 측정 장비 등의 RF

시스템에 널리 사용된다<sup>[1]</sup>. 기술이 꾸준히 발전하는 가운데, 다중대역, 다중 포트 그리고 소형화 기법이 현재까지 연구되고 있다<sup>[2,3]</sup>. 그러나 대부분은 전형

※ 본 연구는 LIG넥스원의 연구비 지원으로 수행되었음.

• 주저자 : 인천대학교 정보통신공학과 전파환경·전파공학 연구실, dj-eom@incheon.ac.kr, 준회원

◦ 교신저자 : 인천대학교 정보통신공학과 전파환경·전파공학 연구실, s-kahng@incheon.ac.kr, 정회원

\* LIG넥스원, choonghosong@lignex1.com, woochunsik@lignex1.com, dohyun.park@lignex1.com

논문번호 : LICS2011-11-545, 접수일자 : 2011년 11월 24일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 14일

적인 Wilkinson 전력 분배기의 미앤더링과 로딩을 적용하는 기술에 의존하고 있는 상황이다. 다중대역 기술에 대해서는, 이중대역 전력분배기를 위한 설계 방법이 Z. Lin에 의해 제안되었다<sup>4)</sup>. 전력 분배기의 대역 확장을 위해 X. P. Ou 는 임피던스 매칭용 수식을 도출하였다<sup>5)</sup>. Abbosh는 세 개의 입출력 포트를 갖는 다층구조의 광대역 전력분배기를 선보였는데 공정의 복잡도와 제작비용의 상승이 뒤따른다<sup>6)</sup>.

RF부품과 무선통신 시스템의 소형화와 성능향상을 위한 대안으로, 광학과 전파공학자들은 메타물질 구조의 전송선과 응용구조를 연구해왔다<sup>7-11)</sup>. C. Caloz는 비선형의 분산도를 가지기 위해 CRLH의 집중소자를 사용하여 이중대역 특성을 갖는 네 개 포트 브랜치 커플러를 설계하였다<sup>7)</sup>. F. Martin은 전력 분배기의 분기선로 아래에 집중소자 특성의 분포정수인 CSRR(Complimentary Split Ring Resonator) 구조를 두어 Wilkinson 설계에 다른 방안을 소개하였다<sup>7-8)</sup>. 이와 유사하게 접지면에 패치와 미앤더 라인을 남기고 형성된 슬릿은 LCP기판 상층의 갭 결합된 급속선로와 함께 대역통과 여파기로서 전력 분배기의 크기를 줄이는 방안이 Ta에 의해 제안되었으며, 일반적으로 많이 사용되지 않는 다층의 LCP기판을 사용하고 3차원 전자장 해석과 측정의 차이가 큰 것으로 나타난다<sup>9)</sup>. Inoue는 CRLH구조를 국부LC소자로 꾸미는 것과 유사하지만 단일 칩 가공이 가능한 다층구조 LTCC형 소형 전력 분배기를 제시하고 있는데, 소형화에 치중한 나머지 결합제어 능력을 상실하여 성능이 많이 열화되고, 공정 난이도와 비용이 높은 것도 단점이다<sup>13)</sup>. Saenz는 임피던스 변환 기능을 갖는 0.25파장 길이의 분기선로 대신 CRLH T접합을 써서 임피던스 매칭을 통한 전력 분배 결과를 얻으려고 하지만, 두 개의 출력 포트로의 전력 분배량과 포트간 격리 성능이 불분명하다<sup>14)</sup>. 또한 설계변수가 많이 부족한 구조이다.

본 논문에서는 전력 분배기의 분기선로를 대체하여 그 물리적인 크기를 줄이며 성능을 향상하는 저렴한 공정의 단층 국부LC소자가 필요없는 마이크로 스트립 대역통과 여파기 결합형 전력분배기를 제안한다. 기존 전력 분배기가 비공진형 분기선로를 가져 협대역과 크기축소가 제한적인 점을 극복하기 위해 공진구조로서 제안하는 대역통과 여파기는 분포정수 형태의 CRLH 여파기로 그 물리적 크기는 약  $\lambda/12$ 만큼 작다. 제안된 CRLH 여파기는 목표 대

역에서 원하는 전력 분배가 일어나는 분기선로 역할한다. 설계단계에서, 군위성통신 중계기의 L-band 요구사항을 목표로 잡은 뒤, 등가회로를 만들고 계산된 회로요소에 상응하는 물리적 구조를 얻어 3D EM(3차원 전자장) 모의실험이 수행된다. 제작된 전력 분배기의 측정된 산란계수(S-parameter)를 얻어 모의실험 결과와 비교하고, 크기 관점에서 기존 전력 분배기에 대한 소형화 효과를 나타낸다.

## II. 본 론

### 2.1. 군위성통신 중계기 L-대역 CRLH ZOR 대역통과 여파기

Wilkinson 전력 분배기는 입력 포트의 신호를 두 개의 분기선로(Branch또는 arm)들을 통해 출력 포트에 균등전력으로 분배한다. 분기 선로는 일직선의 전송선, 미앤더링 형태, 다중 혹은 테이퍼링 된 다양한 구조를 통하여 임피던스를 매칭하며 전력 분배율을 조정한다. 기존 분기선로를 쓸 때 그 길이가  $\lambda/4$ 이므로 길이가 길고 한정되고, 단일 분기선로로서 협대역 특성을 가지는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 우리는 분기선로들을 대역통과 여파기로 대체하였다. 우선 전력 분배기의 분기선로를 대체할 대역통과 여파기를 설계하여 공진구조(0차 공진)로 크기를 줄이고 대역을 확보하여 전력을 분배한다. 설계 목표치는 표 1과 같다.

표 1. L-대역 전력 분배기 및 여파기의 목표치  
Table 1. Specifications on the power divider and filter

항목	전력분배기의 목표치	대역통과 여파기의 목표치
중심 주파수 (fc)	1.2GHz	1.2GHz
대역폭(BW)	0.5GHz	0.5GHz
반사 손실	$ S_{11}  \leq -15\text{dB}$	$ S_{11}  \leq -15\text{dB}$
삽입 손실	N/A	$ S_{21}  \leq 1.0\text{dB}$
전력 분배	$ S_{21} ,  S_{31}  \leq 3\pm 1\text{dB}$	N/A
격리도	$ S_{32}  \leq -15\text{dB}$	N/A

목표 설계치는 950MHz에서 1.45GHz의 L-대역 내에서 -15dB 이하의 반사손실과 격리도 및  $3\pm 1\text{dB}$  이하의 전력 분배를 갖도록 설정 하였다. 위의 설계 사양에 따라 전력 분배기가 동작하는 대역이 확정

되어, 전력 분배기의 크기를 소형화하고 대역을 형성하기 위해 L-대역의 CRLH 대역통과 여파기가 설계된다. 여러 가지 대역통과 여파기용 등가회로가 있지만  $\pi$  형 CRLH 등가회로를 꾸민다.

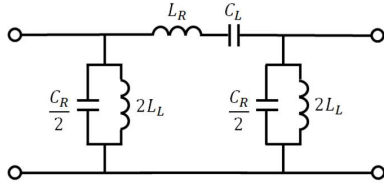


그림 1. 제안된 L-대역 CRLH 0차 공진 대역통과 여파기의 등가 회로

Fig. 1. Equivalent circuit of the proposed L-band CRLH ZOR bandpass filter

$C_R, C_L, L_R$ 과  $L_L$ 은 조합가능한 공진기들의 공진 주파수들이 대역을 만들고 CRLH의 Balanced 조건이  $f_0$ 에서 발생시키는 가운데 결정된다. LH와 RH 공진기의 공진 주파수( $f_L$ 과  $f_R$ )는 직렬 및 병렬 공진 주파수에 의해 언어짐을 위의 그림을 통해 가늠할 수 있다<sup>9-11</sup>.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_R}}, f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_L C_L}}$$

$$f_0 = \sqrt{f_L f_R}, f_{se} = f_{sh} = f_0 \quad (1)$$

단,

$$f_{se} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_R C_L}}, f_{sh} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_L C_R}}$$

전력 분배기에 결합될 대역통과 여파기의 경우, 대역 내에서 고른 전력 분배를 위해 전력 분배기의 대역보다 좀 더 넓게 대역을 설정하였다. 그러므로  $f_L, f_0(=f_{se}=f_{sh})$ 와  $f_R$ 를 각각 0.95GHz, 1.2GHz, 1.45GHz로 설정하고 위 공식을 풀면  $C_R, C_L, L_R$ 과  $L_L$ 을 표 2와 같이 계산되어진다.

표 2. 대역통과 여파기의 소자 값  
Table 2. Circuit elements for the CRLH bandpass filter

변수	값	변수	값
$L_L$	2.487nH	$C_L$	0.995pF
$L_R$	19.894nH	$C_R$	7.958pF

표 2의 소자값을 이용하여 구한 반사손실과 삽입 손실은 그림 2와 같다.

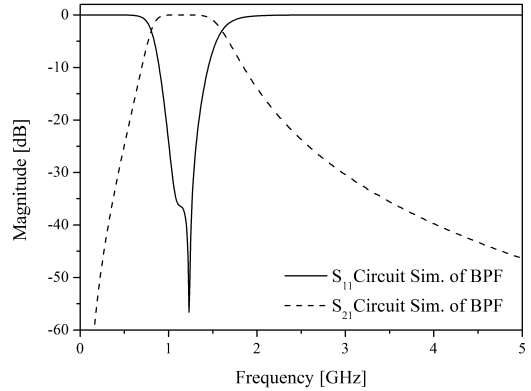


그림 2. 제안된 CRLH 대역통과 여파기의 모의실험 결과  
Fig. 2. Circuit simulation result of the proposed CRLH bandpass filter

그림 2의 입력 및 출력포트의 반사손실은 대역 내에서 -15dB 이하이고 삽입손실은 1dB 이하으로 앞서 설정한 목표 설계치의 값에 부합하는 것을 알 수 있다. 그러므로 표 2에서 구한 소자값들을 분포 정수 형태의 물리적 구조로 설계하였다. [9-11]의 식으로 얻은 값에 상응하는 요소들의 결합은 그림 3(a)의 물리적 구조와 같게되며, 이 구조의 전자기적 및 전기적 특성을 분석하기 위해 CST-MWS를 사용하여 3차원 전자기장 모의실험을 수행한다.

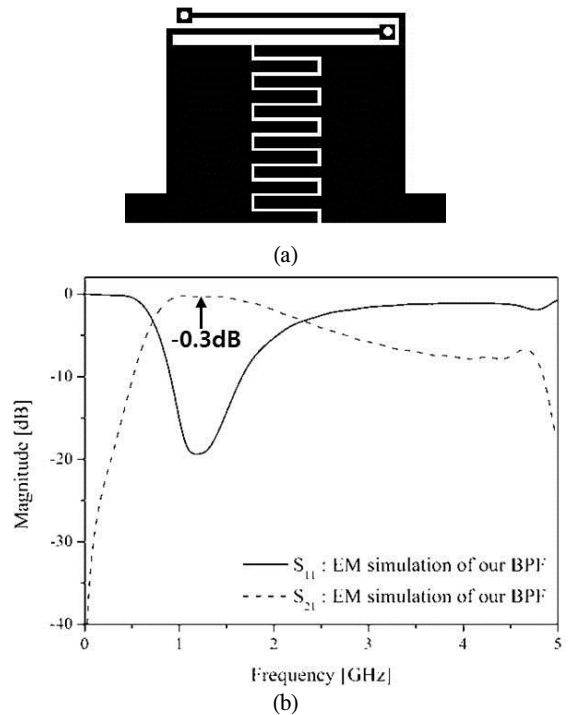


그림 3. L-대역 CRLH 0차 공진 대역통과 여파기의 EM 모의 실험 결과 (a) 여파기 구조 (b) EM 모의실험 결과  
Fig. 3. EM simulation result of the proposed L-band CRLH ZOR bandpass filter (a) Filter geometry (b) EM simulated result

그림 3(a)의 제안된 여파기 구조의 크기는  $10.3 \times 9.5 \times 1.2 \text{mm}^3$ 로 중심 주파수를 기준으로 약  $\lambda_g/12$ 의 크기로 소형화 되었다. 기존의 대역통과 여파기 설계기술에서는  $\lambda_g/2$  크기의 공진기를 주로 사용하는데, 제안된 기술의 공진기는 여섯배 소형화 효과를 가져올 수 있다. 또한 전력 분배기의 분기선로는 길이가  $\lambda_g/4$ 인데, 그림 3(a)로 대체할 경우 세 배의 소형화 효과를 얻는 것이다. 성능면에서 제안된 여파기는 그림 3(b)에서처럼 950MHz부터 1.2GHz를 포함하여 1.52GHz까지 대역통과 특성을 보인다. 이 필터는 4.4의 유전율을 갖고 0.02의 손실 탄젠트를 갖는 FR4 기판에서 설계 되었고, 이때 대역 내에서의 반사 손실과 삽입손실은 목표치에 부합한다. 이때 제안된 여파기의 메타재질구조 특성인 0차 공진 현상을 증명하기 위해 분산도와 전계분포를 얻었으며 결과는 그림 4와 같다.

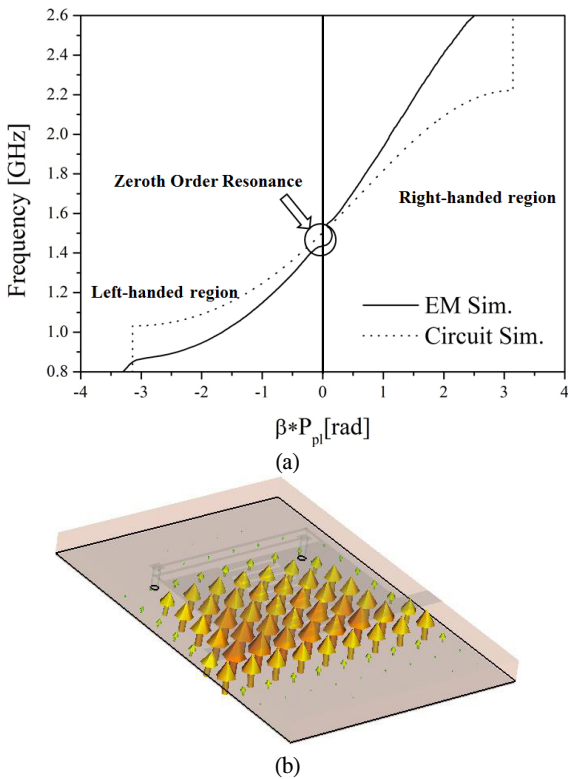


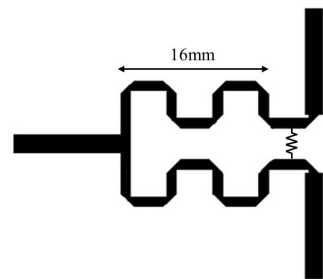
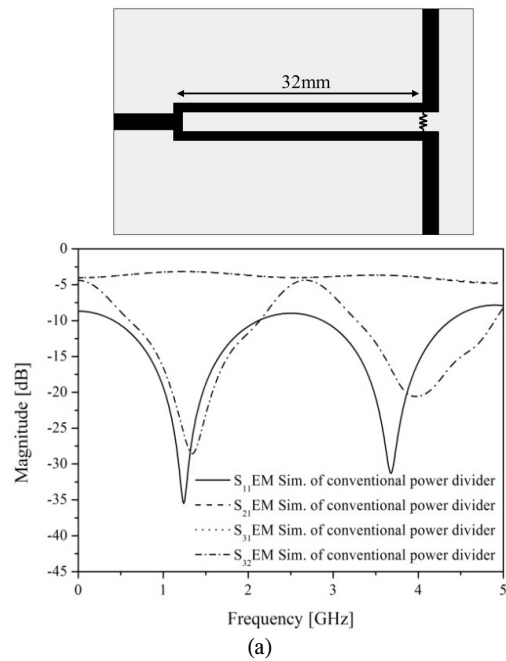
그림 4. CRLH 0차 공진 여파기의 메타재질구조 특성 (a) 분산도 (b) 전계분포  
 Fig. 4. Metamaterial properties of the CRLH ZOR filter (a) Dispersion diagram (b) Electric field at the ZOR

그림 4(a)는 왼손 전파 특성과 0차 공진 특성, 오른손 전파 특성을 모두 갖는 CRLH balanced 구조의 분산도를 나타낸 것으로서 분포정수형태로 설계된 여파기의 중심 주파수인 1.5GHz 부근에서 전파 상수가 0이 되어 0차 공진특성을 띠고 1.5GHz

를 중심으로 낮은 주파수 대역에서는 왼손 전파 특성이, 높은 주파수 에서는 오른손 전파 특성이 나타나게 된다. 이때 분산도에서 볼 수 있듯이 왼손 전파 특성을 띠고 그림 4(b)를 보면 0차 공진점에서 여파기의 물리적 구조상에서 전계분포가 무위상 변화를 갖음을 알 수 있다.

## 2.2. 군위성통신 중계기 L-대역용 CRLH 전력 분배기

제안된 메타재질구조 CRLH ZOR 여파기가 전력 분배기의 분기선로로 사용된다. 제안한 전력 분배기의 특징을 살펴보기 전에,  $\lambda_g/4$  길이 전송선을 분기선로로 갖는 일반적인 전력 분배기를 설계하여 전력분배 특성과 하모닉 발생현상을 확인하였다.



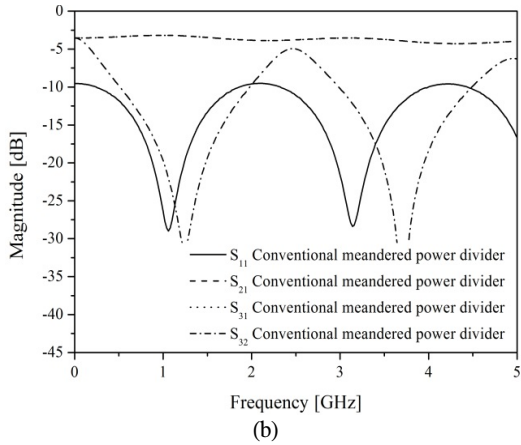


그림 5. 기존의 전력 분배기 (a) 곧은  $\lambda/4$  전송선의 분기경로를 갖는 전력 분배기 (b)  $\lambda/4$ 의 미앤더링 된 전송선의 분기선로를 갖는 전력 분배기  
 Fig. 5. Conventional L-band power dividers (a)Case 1:  $\lambda/4$  transmission line power divider and results (b)Case 2: Meandered  $\lambda/4$  transmission line power divider and results

그림 5에 기존의 전력 분배기 설계기법에 의한 두 가지의 구조가 보인다. 물론 각각의 구조에 대한 산란계수 데이터도 도시하였다. 분기선로에 곧은 형태의  $\lambda/4$  전송선을 적용한 구조가 그림 5(a)와 같으며 이때 전송선의 길이는 32mm이다. 또한 주파수 특성은 대역 내의 중심 주파수인 1.2GHz에서 공진이 일어나며 이어서 하모닉인 불요공진이 대역 밖에서 발생하며  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ 의 경우 대역 밖에서도 -3dB를 유지하여 대역 밖에서도 주기적인 특성이 나타난다. 그림 5(b)는 그림 5(a)의 곧은 형태의 전송선의 크기를 줄이기 위하여 미앤더링 한 구조로서 이때의 산란계수 역시 그림 5(a)의 구조의 경우와 같다.

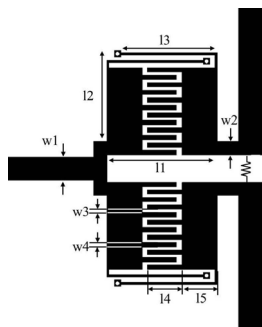


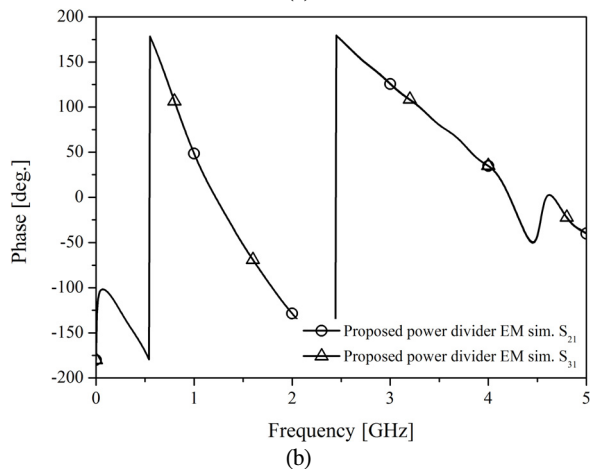
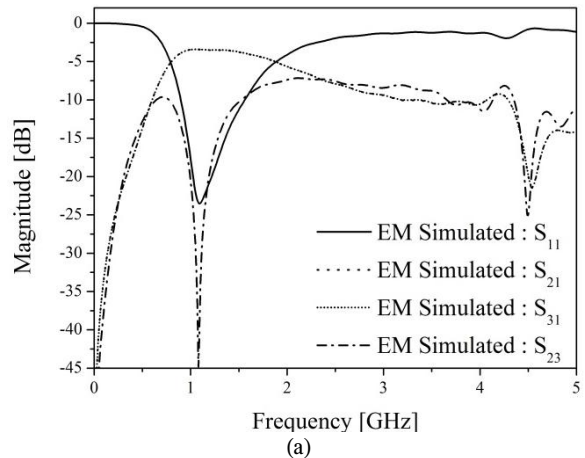
그림 6. 제안된 CRLH 0차 공진 전력 분배기  
 Fig. 6. The proposed compact CRLH ZOR power divider

그림 5과 같은 이전의 구조의 단점인 큰 크기와 하모닉 발생(포트간 간섭요인)을 극복하는 전력 분배기를 제안한다. 앞 절에서 제시한 CRLH 0차 공진 여파기와 100  $\Omega$ 의 저항을 포함하며 물리적 구조는 그림 6과 같다.

전체적으로는 wilkinson 전력 분배기와 흡사하지만 분기선로에 메타재질구조 CRLH 대역통과 여파기가 자리하고 있다. 여파기만 설계하는 경우에는 입출력 포트의 임피던스인 50옴을 기준으로 대역통과 특성을 맞추었지만, 전력 분배기의 일원이 되어서는 대역통과 여파기 양쪽의 임피던스가 70.5옴으로 바뀐 상황에서 임피던스 정합과 전력 분배 결과를 목표값에 맞춰야 한다. 분기선로의 임피던스와 달리 두 개의 출력 포트의 임피던스는 50옴임을 명심하고 설계를 진행한다. 3차원 모의시험을 반복적으로 수행하여 통과대역과 하모닉 저감특성 그리고 임피던스 매칭을 모두 만족하는 단계까지 이르면 다음과 같은 물리적 치수를 확보할 수 있다.

표 3. 제안된 전력 분배기 물리적 구조의 수치  
 Table 3. Physical dimensions of the proposed power divider

변수명	값 (mm)	변수명	값 (mm)	변수명	값 (mm)
$l1$	10.3	$l2$	8.5	$l3$	9
$l4$	3.2	$l5$	3.3	$w1$	2.18
$w2$	1.2	$w3$	0.3	$w4$	0.4





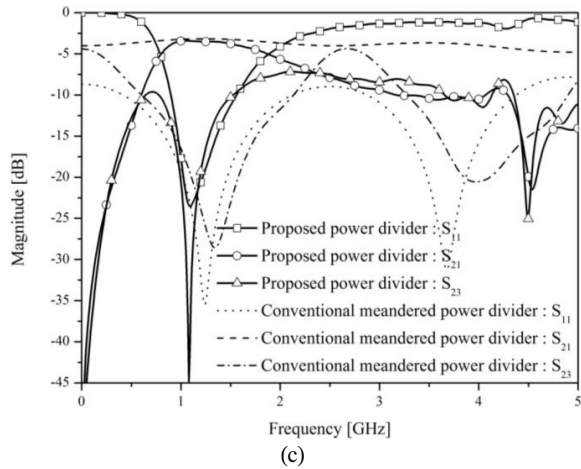
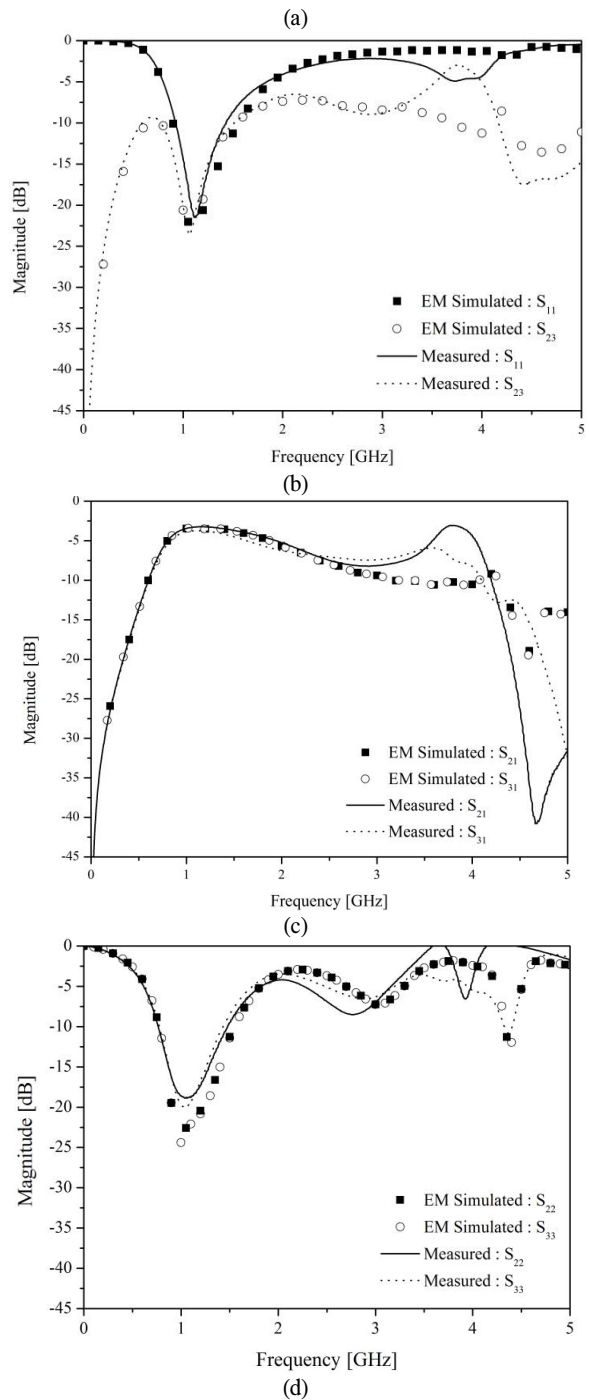
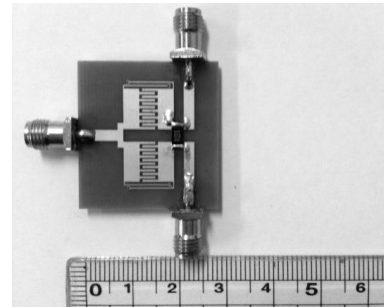


그림 7. 제안된 전력 분배기의 전자장 모의실험 결과와 기존의 전력분배기와의 특성 비교 (a) 결과 (b) 위상 (c) 비교  
 Fig. 7. EM simulation of the proposed power divider and comparing our and conventional designs (a)result (b) phase (c)comparison

전력 분배기의 크기는 앞에서 제안한 대역통과 여파기와 저역 통과 여파기의 크기를 따르며  $\lambda_g/4$ 의 전송선이  $\lambda_g/12$ 의 크기로 3배 이상 소형화 되었다. 제안된 구조로 모의실험한 주파수 특성인  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ ,  $S_{23}$ 는 그림 7(a)에 나타나 있다.  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ ,  $S_{11}$ 과  $S_{23}$ 는 각각 통과 대역 내에서 -3.5dB 및 -15dB 이하의 특성을 보인다. 또한 내역 내에서 동위상임을 확인할 수 있다. 기존의 전력 분배기에서 나타난 특성인 불요공진의 특성 또한 해결 하였고 대역 밖에서 약 -20dB 이하의 우수한  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ 의 차단 특성을 보인다.

### III. 제작 및 측정

제작된 안테나는 그림 8(a)에서 사진으로 제시되고 있으며, 측정을 위해 급전선로에 SMA커넥터를 부착하였고, 격리도 특성을 위하여 100Ω의 칩저항을 두 출력단 사이에 결합하였다. 제작된 전력 분배기는 Agilent사의 Vector Network로 측정하였고, 이때의 특성을 전자장 모의실험 값과 비교한 것은 그림 8(b)와 그림 8(c)에 나타나있다.



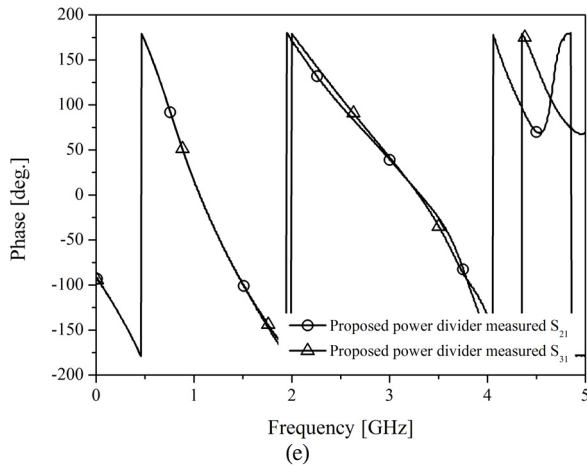


그림 8. 제안된 전력 분배기의 모의실험과 측정 결과 비교 (a) 제작된 전력분배기의 사진 (b) S11&S32 (c) S21&S31 (d) S22&S33 (e) 위상

Fig. 8. Measured and EM-simulated results of the proposed power divider (a) Photograph of the manufactured power divider (b) S11&S32 (c) S21&S31 (d) S22&S33 (e) phase

그림 8(a)와 같이 제작된 전력 분배기의 크기는  $28.67 \times 30 \times 1.2 \text{mm}^3$ 으로 곧은 직선 형태의 기존 전력 분배기보다 약 3.1배, 미앤더링 된 구조보다 약 1.6 배 소형화 되었다. 측정 결과 대역 내에서  $S_{21}$ 과  $S_{31}$ ,  $S_{11}$ 과  $S_{23}$ 가 각각  $-3.5$ ,  $<-15\text{dB}$ ,  $-15\text{dB}$ 로 모의 실험 결과와 비슷한 주파수 특성을 나타내었고, 대역 내에서 동위상의 특성을 보이며  $S_{22}$ ,  $S_{33}$  역시 대역 내에서  $-15\text{dB}$  이하의 우수한 반사 손실 특성을 보였다. 또한 대역 밖에서  $-15\text{dB}$ 이하의  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ 결과를 보이며 기존 전력 분배기에서 보이던 불요공진을 제거하였다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 새로운 구조의 L-대역의 전력 분배기를 제안하였다. CRLH 0차 공진 대역통과 여파기를 이용하여 기존의 곧은 형태와 미앤더링 된  $\lambda/4$  길이의 분기 가지 전송선보다 각각 3.1배, 1.6 배 소형화 하고 대역 밖에 형성되는 불요공진을 제거하였다. 전력 분배기의 대역은  $950\text{MHz} \sim 1.45\text{GHz}$ 로 설계 목표인 대역 내에서  $-3.5\text{dB}$ 의  $S_{21}$ ,  $S_{31}$ 의 특성과,  $-15\text{dB}$ 이하의  $S_{11}$ ,  $S_{32}$ 특성을 얻었다. 따라서 본 논문에서 제안된 전력 분배기는 균위성통신의 시스템 소형화 개발에 활용될 수 있다고 사료된다.

#### References

- [1] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 2nd ed. New York:Wiley, 1998,pp. 367 - 368
- [2] H. Oraizi, A.-R. Sharifi, "Optimum Design of Asymmetrical Multisection Two-Way Power Dividers with Arbitrary Power Division and Impedance Matching", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, pp1478-1490, June 2011
- [3] I. Sakagami, and T. Wuren, "Compact multi-way power dividers for dual-band, wide band and easy fabrication", IEEE Microwave Symposium Digest, pp.489-492, October, 2009
- [4] Z. Lin, and Q.-X. Chu, "A novel dual-band power divider based on coupled -lines," APMC 2009, pp.1016-1019, Dec. 2009[1] D. M. Pozar, Microwave Engineering, 2nd ed. New York:Wiley, 1998,pp. 367 - 368
- [5] X.-P. Ou, and Q.-X. Chu, "A modified two-section UWB Wilkinson power divider," ICMMT 2008, pp.1258-1260, October 2008
- [6] A.M. Abbosh, "Ultra wideband inphase power divider for multilayer technology," IET Microw. Antenas & Propagation, Vol. 3, pp.148-153, 2009
- [7] C. Caloz, and T. Itoh, Electromagnetic Metamaterials: Transmission Line Theory and Microwave Application, John Wiley & Sons, 2006
- [8] R. Marues, F. Martin, and M. Sorolla, Metamaterials with Netgative parameters : Theory, Design, and Microwave Applications, New Jersey, John Wiley and Sons, 2008
- [9] G. Jang and S. Kahng, "Design of a Metamaterial Bandpass Filter Using the ZOR of a Modified Circular Mushroom Structure", Microwave Journal, Vol. 54, No. 5, pp. 158-167, May. 2011
- [10] G. Jang and S. Kahng, "Design of a dual-band metamaterial bandpass filter using zeroth order resonance," Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 12, pp. 149-162, 2010
- [11] J. Ju, and S. Kahng, "A compact UWB bandpass filter using a center-tapped composite

right/left-handed transmission-line zeroth-order resonator" Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 53, Issue 9, pp.1974 - 1976, September 2011

[12] Hai Hoang Ta and Anh-Vu Pham, "Compact Wilkinson Power Divider Based on Novel Via-less Composite Right/Left-handed (CRLH) Transmission Lines," IEEE MTT-S pp.313-315, 2010

[13] Naohiro Inoue, Takahiro Kawakami, Yasushi Horii, Toshiaki Kitamura, "A Super-Compact Dual-Band Wilkinson Power Divider Composed of Multi-Layered CRLH Transmission Lines," Proceedings of the 40th European Microwave Conference pp. 433-435, 2010

[14] E. Saenz, A. Cantora, I. Ederra, R. Gonzalo, and P. de Maagt, "A Metamaterial T-Junction Power Divider," IEEE MWCL, Vol. 17, No. 3, March 2007

**엄 다 정 (Da-jeong Eom)**



2011년 2월 인천대학교 정보통신공학과 졸업  
 2011년 3월~현재 인천대학교 정보통신공학과 석사 과정  
 <관심분야> 초고주파 부품 설계 및 안테나

**강 승 택 (Sungtek Kahng)**



2000년 2월 한양대학교 전자통신 공학박사  
 2000년 한양대학교 산업과학연구소 연구원  
 2004년 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원  
 2004년~현재 인천대학교 정보통신공학과 교수

2007~현재 송도 국방벤처 자문교수  
 <관심분야> 전자파 수치해석 및 응용, EMI/EMC 대책, 초고주파 부품 및 안테나 설계, 메타재질구조 이론 및 응용

**송 충 호 (Choongho Song)**



1996년 한양대학교 전자통신공학과 졸업  
 1998년 한양대학교 전자통신공학 석사  
 2002년 한양대학교 전자통신공학 박사  
 2002년~현재 LIG넥스원 수석연구원

<관심분야> 위성통신 시스템, 이동용 위성통신단말, 위성추적 안테나 및 알고리즘, 메타재질 구조

**우 춘 식 (Chunsik Woo)**



2001년 한양대학교 전자전기 제어계측공학과 졸업  
 2003년 한양대학교 전자전기 제어계측공학 석사  
 2003년~현재 LIG넥스원 선임연구원

<관심분야> 위성통신 시스템, RF 송수신부, 메타재질 구조

**박 도 현 (Dohyun Park)**



2006년 경희대학교 전파통신공학과 졸업  
 2006년 2월~6월 LG디스플레이 연구원  
 2006년 7월~현재 LIG넥스원 선임연구원

<관심분야> 위성통신 시스템, 이동용 위성통신단말, 위성추적 안테나 및 알고리즘, 메타재질 구조